

Rancang Bangun *Auto Switch* PID pada Sistem ILFM (*In Line Flash Mixing*) untuk Proses Netralisasi pH

Hariadi Kurniawan dan Hendra Cordova

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: hcordova@ep.its.ac.id

Abstrak- Perubahan nilai pH larutan asam terhadap penambahan larutan basa memiliki sifat nonlinier. Pada umumnya pengendalian PID digunakan pada proses yang linier. Namun demikian, pada pengendalian pH yang merupakan proses nonlinier ini akan diterapkan *auto switch* PID sebagai solusinya. Sistem ILFM merupakan pengembangan dari sistem CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor) yang mengasumsikan reaksi asam-basa terjadi secara cepat. Pada sistem ILFM laju aliran asam dibuat konstan sedangkan laju aliran basa dapat dikontrol. Pompa DC 12V digunakan untuk mengalirkan larutan asam dan basa. Alat ukur pH yang digunakan adalah *pH meter* YK-2001PH. *Software* LabVIEW digunakan sebagai penanaman algoritma *autoswitch* PID dan HMI pada tugas akhir ini. *Auto switch* PID akan bekerja sesuai dengan daerah linier yang telah dibagi. Daerah linier tersebut didapatkan berdasarkan hasil kurva eksperimen titrasi larutan CH_3COOH 0,1M, 16,25ml dengan NaOH 0,1M, 20 ml. Terdapat tiga daerah linier pada kurva titrasi, yaitu $3,5 \leq \text{pH} \leq 6,21$, $6,22 \leq \text{pH} \leq 10,73$ dan $10,74 \leq \text{pH} \leq 11,9$. Pada uji *closed loop*, untuk *setpoint* pH 5 didapatkan nilai karakteristik respon *maximum overshoot* sebesar 19,6 %, *Ess (error steady state)* sebesar 0,04% dan *Ts (Time Settling)* sebesar 6s. Pada uji *setpoint* 6 didapatkan *maximum overshoot* 3,3%, *Ess* 3% dan *Ts* 13s. Pada uji nilai *setpoint* pH 11 didapatkan *maximum overshoot* sebesar 6 %, *Ess* sebesar 2,7% dan *Ts* sebesar 20s. Pada *tracking* turun nilai *setpoint* pH 11-5 didapatkan *maximum overshoot* 1,6%, *Ess* sebesar 1% dan *Ts* sebesar 8s. Pada daerah linier 2 tidak dapat tercapainya SP yang diinginkan. Hal ini dikarenakan daerah linier 2 adalah daerah kritis dengan penambahan 1ml/s akan mengubah nilai pH menjadi 2 kali semula sedangkan resolusi pompa melebihi dari 1ml/s.

Kata kunci- ILFM (*In Line Flash Mixing*), *auto switch* PID, LabVIEW

I. PENDAHULUAN

PROSES pengendalian pH asam dengan basa berperan signifikan dalam berbagai dunia industri. Proses pengendalian ini dapat ditemukan pada pengolahan air limbah industri (*waste water treatment*), *biochemical* proses, *cooling water* dan lain-lain. Pengendalian ini merupakan proses pengendalian yang nonlinier [1]. Hal ini dapat dilihat pada studi kuantitatif titrasi larutan asam-basa. Pada kurva titrasi

asam-basa dapat diketahui perubahan nilai pH tidak proporsional dengan penambahan jumlah volume basa terhadap asam. Pada umumnya pengendalian menggunakan PID digunakan pada proses yang linier [2]. Namun demikian, pada pengendalian pH yang merupakan proses nonlinier ini dapat diterapkan *auto switch* PID sebagai solusinya.

Menurut Jin Young choi dan Jietae Lee, umumnya proses pengendalian pH terjadi pada tanki CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*). Selain itu, proses tersebut juga dapat dilakukan pada ILFM (*In Line Flash Mixing*) [1]. Pada CSTR pencampuran asam dengan basa terjadi pada sebuah tanki. Sedangkan, pada ILFM pencampuran aliran terjadi didalam pipa tanpa menggunakan tanki sebagai tempat terjadinya reaksi. ILFM merupakan pengembangan dari CSTR yang mengasumsikan reaksi asam-basa terjadi secara cepat. Dalam penelitian ini akan diterapkan konsep *auto switch* PID pada ILFM.

Pada tahun 2010, Fadloli Luthfi melakukan simulasi perancangan *auto switch* PID pada CIPM (*Continuous Injection Pipe Mixing*) atau ILFM dengan menggunakan *software* MATLAB [3]. Pada tahun 2011, Syahrizal Ismail telah menerapkan metode kontrol *auto switch* PID pada CSTR secara *real time* [4]. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan diterapkan konsep *auto switch* PID pada ILFM secara *real time*.

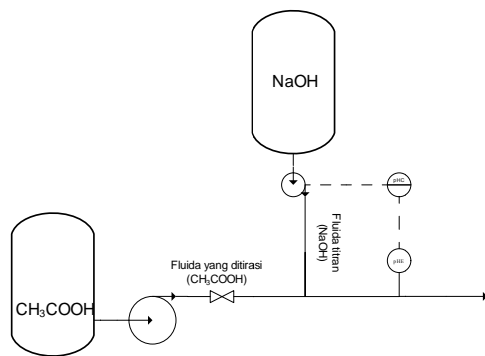
II. URAIAN PENELITIAN

A. Plant Proses Pengendalian pH

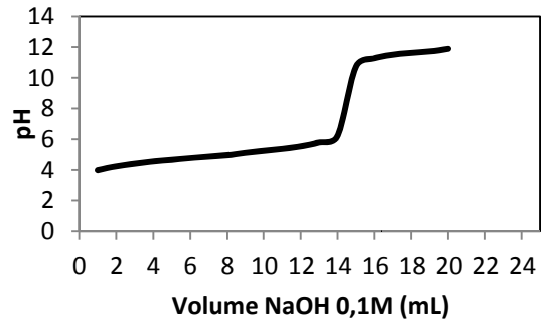
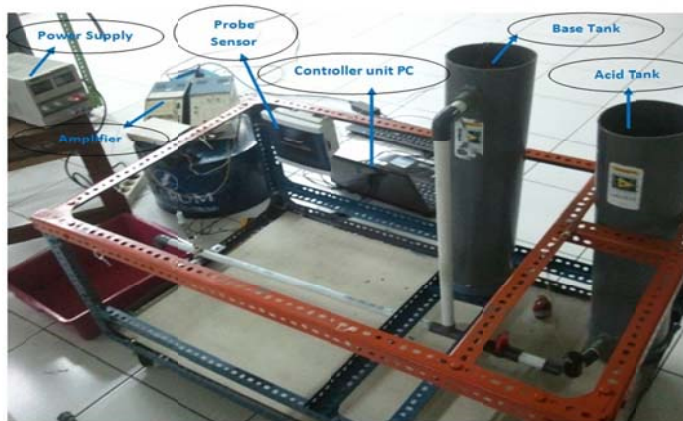
Pada tugas akhir ini, *plant* proses pengendalian pH menggunakan metode ILFM (*In Line Flash Mixing*). Pada *plant* ILFM ini digunakan larutan asam lemah CH_3COOH 0,1M dan larutan basa kuat NaOH 0,1M. Pada *plant* ILFM (*In Line flash Mixing*) ini pencampuran asam-basa langsung terjadi didalam pipa seperti pada Gambar 1.

Gambar 1 adalah konfigurasi sistem ILFM yang digunakan. Laju aliran asam lemah dibuat konstan, sedangkan laju aliran basa dikendalikan. Nilai pH akan diukur oleh pH transmitter kemudian sinyal akan dikirimkan menuju pengendali. Pengendali akan memberikan sinyal kendali ke pompa.

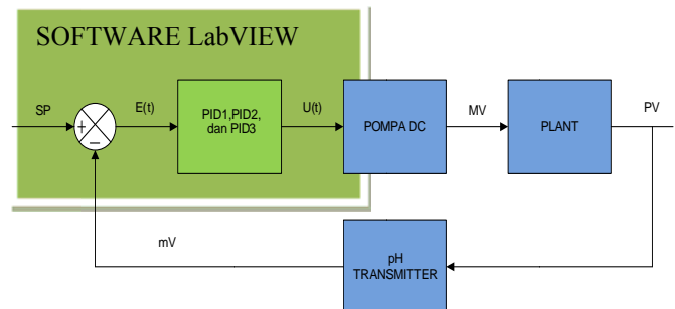
Gambar 2 merupakan sistem ILFM yang digunakan pada tugas akhir ini. Pada *plant* tersebut terdapat dua buah tanki. Tanki pertama merupakan tanki asam yang terbuat dari pipa PVC 5 Inc, sedangkan tanki kedua adalah tanki basa yang terbuat dari PVC juga. Besar pipa yang digunakan untuk menghubungkan kedua tanki ini berdiameter ½In. Parameter-



Gambar 1. Konfigurasi Plant IFM (In Line Flash Mixing)

Gambar 3. Kurva titrasi NaOH 0,1M dengan CH₃COOH 0,1M

Gambar 2. ILFM (In-Line Flash Mixing)

Gambar 4. Diagram blok sistem pengendalian *feedback*

Tabel 1.
Parameter proses

Parameter	Satuan
Volume Tangki Asam (Acid Tank)	8,5L
Volume Tangki Basa (Base Tank)	8,5L
Debit Pompa DC Asam	16,5mL/s
Debit Pompa DC Basa	0-20mL/s
Konsentrasi CH ₃ COOH	0,1M
Konsentrasi NaOH	0,1M
Diameter Pipa PVC (main pipe)	1/2 Inc

parameter dari sistem ILFM yang digunakan seperti pada Tabel 1.

Pada plant tersebut terdapat dua buah tanki. Tanki pertama merupakan tanki asam yang terbuat dari pipa PVC 5 Inc, sedangkan tanki kedua adalah tanki basa yang terbuat dari PVC juga. Besar pipa yang digunakan untuk menghubungkan kedua tanki ini berdiameter 1/2In.

B. Sistem Pengendalian

Auto switch PID pada tugas akhir ini dirancang berdasarkan kurva eksperimen titrasi CH₃COOH 0,1M dengan NaOH 0,1M. Kurva titrasi diperoleh dari hasil titrasi 20 mL NaOH 0,1 M dengan 16,5 mL CH₃COOH 0,1M.

Proses titrasi ini dilakukan dengan menambahkan 1mL NaOH 0,1 M. Kurva titrasi terbentuk dengan mengambil nilai perubahan pH setiap dilakukannya penambahan basa kepada asam seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

Kurva titrasi yang telah didapatkan berfungsi untuk menentukan daerah linier proses yang digunakan. Berdasarkan hasil titrasi maka didapatkan tiga daerah linier yaitu $3,5 \leq \text{pH} \leq 6,21$, $6,22 \leq \text{pH} \leq 10,73$, dan $10,74 \leq \text{pH} \leq 11,9$. Pembagian daerah linier ini digunakan sebagai pedoman dalam penerapan *auto switch* PID.

Perancangan *auto switch* PID dilakukan pada *software* LabVIEW. Penentuan PID yang bekerja disari oleh nilai *setpoint*. Jika *setpoint* berada pada *range* yang telah disediakan maka akan menghidupkan PID pada *range* tersebut dan mematikan PID yang lainnya. *Gain* PID yang aktif akan memberikan sinyal ke rangkaian penguat dan diteruskan ke pompa sebagai aktuator seperti pada Gambar 5.

Sinyal kontrol akan mengatur besarnya aliran basa yang dipompakan sehingga dapat terjadinya pengaturan nilai pH. Perancangan *auto switch* PID dikatakan berhasil jika nilai *error* yang ingin dicapai adalah $<5\%$.

III. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Data Pembacaan Alat Ukur

Alat ukur yang digunakan adalah pH meter YK-2001PH. Pengambilan data alat ukur setelah dikalibrasi dilakukan pada tiga nilai pH yaitu 4,7, dan 10. Larutan yang digunakan adalah *buffer solution* dikarenakan larutan *buffer* dapat mempertahankan nilai pH-nya.

Tabel 2.
Ketidakpastian kalibrasi

Tipe	Nilai
Standar Deviasi	0,0152
Ketidakpastian Hasil Pengukuran (UA1)	0,0048
Ketidakpastian Resolusi (UB1)	0,0028
Faktor Cakupan (k)	2,133
Ketidak Pastian Diperluas (Uexp)	0,0119

Tabel 3.
Ultimate sensitivity Methode Tuning Constant [5]

Control Type	Proportional Band %	Reset Time (minutes)	Derivative time (minutes)
Proportional Only	0.5 PB		
Proportional + Integral	0.45 PB	Pu/1.2	
Proportional + Integral + Derivative Ideal	0.6 PB	Pu/2.0	Pu/8.0
Proportional + Integral + Derivative Commercial	0.3 PB	Pu/4.0	Pu/4.0

Dari Tabel 2 diketahui nilai standar deviasi alat ukur sebesar 0,0152. Kemudian dari nilai standar deviasi tersebut, didapatkan nilai ketidakpastian hasil pengukuran (UA1) sebesar 0,0048. Untuk mendapatkan nilai dari ketidak pastian resolusi (UB1) diperlukan data spesifikasi resolusi daroi alat ukur yaitu 0,01. Dengan resolusi 0,01 didapatkan ketidak pastian resolusi sebesar 0,0028. Dari data tersebut didapatkan ketidakpastian diperluas sebesar 0,0119. Sehingga nilai pembacaan alat pH masih dibawah toleransi spesifikasi alat ukur.

B. Tuning PID Daerah Linier $3,5 \leq \text{pH} \leq 6,21$

Dari kurva titrasi sebelumnya diketahui daerah linier satu memiliki nilai pH maksimal 6,21 dengan penambahan basa sebesar 14 ml. Dari data debit pompa dapat diketahui nilai maksimal voltage yang dibutuhkan pompa pada linier satu dengan menggunakan interpolasi.

$$\frac{0,8-0,7}{15,8-12,5} = \frac{0,8-X}{15,8-14} \quad (1)$$

$$X=0,745 \text{ V}$$

Maka didapatkan persamaan berikut:

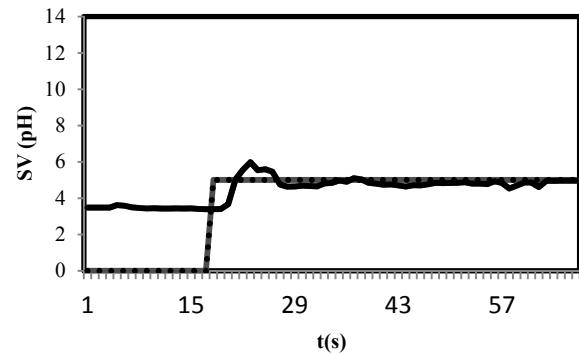
$$PB = \frac{74,5}{\text{Gain}} \quad (2)$$

Sistem beresilasi ketika gain 1,63 dan didapatkan Pbu = 45,6 dan Pu = 2s.

Sehingga dari tabel 3 didapatkan nilai PID pada daerah linier satu adah P = 27,4, I = 0,016 dan D=0,004.

C. Tuning PID Daerah Linier $6,22 \leq \text{pH} \leq 10,73$

Pada daerah linier 2 diketahui nilai pH maksimal adalah 10,73 dengan penambahan volume basa 15 mL. Dengan



Gambar 5. Grafik Respon SP 5

menggunakan interpolasi dapat diketahui voltage yang dibutuhkan adalah 0,775 v.

$$PB = \frac{2,988}{\text{Gain}} \quad (3)$$

Sistem beresilasi ketika gain 2,706 didapatkan Pbu= 1,104 dan Pu = 2s. Sehingga diketahui nilai P=0,6625, I=0,016 dan D=0,004.

D. Tuning PID Daerah Linier $10,74 \leq \text{pH} \leq 11,9$

Pada daerah linier 3 diketahui nilai pH maksimal adalah 11,89 dengan penambahan volume basa 20 mL. Voltage yang diperlukan adalah 1v.

$$PB = \frac{22,5}{\text{Gain}} \quad (4)$$

Sistem beresilasi ketika diberi gain 0,69 sehingga didapatkan PBu =32,6 dan Pu=2s serta diketahui nilai P=19,56, I=0,016 dan D=0,004.

E. Uji Closed loop Pada ILMF

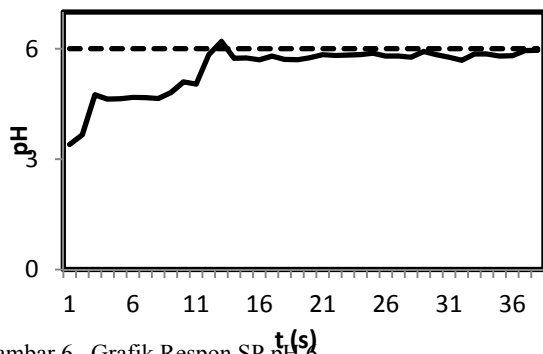
Pada uji *closed loop* dilakukan pengujian sistem control *auto switch* PID dengan set point 5. Parameter PID yang digunakan yaitu P=27,4, I=0,016 dan D=0,004. Adapun grafik respon pengendali seperti pada Gambar 7.

Dari grafik respon dapat ditentukan bahwa performansi sitem pengendalian ini memiliki karateristik *maximum overshoot* sebesar 19,6 %, *Ess (error steady state)* sebesar 0,04% dan *Ts (time settling)* sebesar 6s.

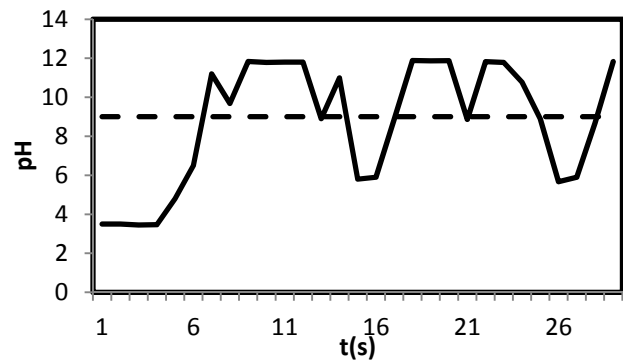
Pada uji *closed loop* berikutnya dilakukan pada sp 6. Pada mulanya larutan asam yang mengalir memiliki nilai pH sebesar 3,5. Setelah diberikan SP 11 nilai pH berubah secara perlahan-lahan menuju *setpoint*. Adapun grafik respon pengendali seperti pada gambar 4.2.

Dari grafik respon dapat ditentukan bahwa performansi sitem pengendalian ini memiliki karateristik *maximum overshoot* sebesar 3,3 %, *Ess (error steady state)* sebesar 3% dan *Ts (Time Settling)* sebesar 13s. Ketika nilai pH masih dibawa nilai 6 maka sinyal kontrol dikirimkan pada aktuator untuk memompakan larutan basa. Pada nilai pH melebihi nilai 6 maka sinyal kontrol mulai mengecil hingga mencapai *set point* yang diinginkan.

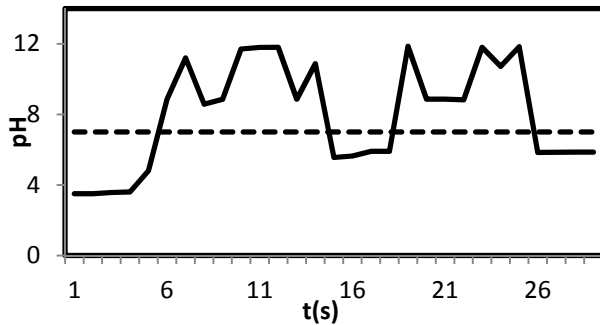
Uji rancang bangun yang dilakukan untuk daerah linier 2, terlihat respon (luaran lup tertutup) pengendalian masing-masing untuk setpoint pH ditunjukkan oleh gambar 4.2 4.3, 4.4 dan 4.6. Seluruh respon pada daerah ini tidak



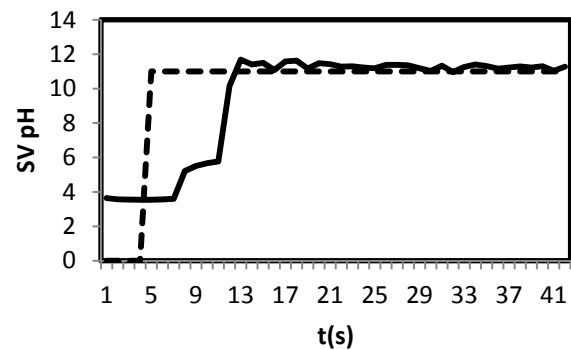
Gambar 6. Grafik Respon SP pH 6



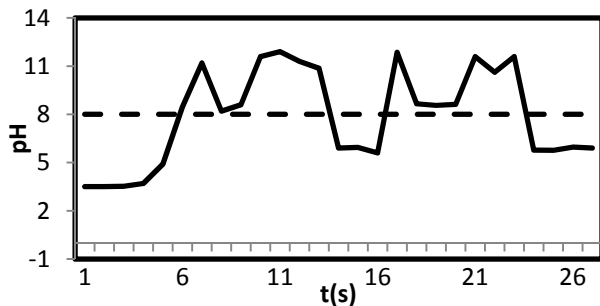
Gambar 8. Grafik Respon SP pH 9



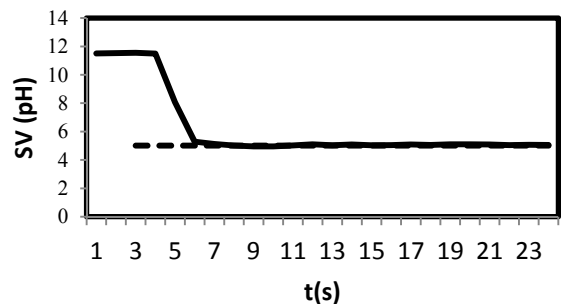
Gambar 7 Grafik Respon SP pH 7



Gambar 9. Grafik Respon SP 11



Gambar 4.4 Grafik Respon SP pH 8



Gambar 10. Grafik Respon 11-5

menunjukkan pencapaian untuk masing-masing set-point yang diberikan.

Gambar 4.2 adalah respon untuk setpoint pH 6, terlihat bahwa performansi sistem kontrol cukup baik dengan pencapaian terhadap set-point yang diberikan. Namun hasil yang berbeda ditunjukkan pada gambar 4.3, 4.4 dan 4.5. Beberapa hal yang menjadi kendala tidak tercapainya respon tersebut disebabkan oleh beberapa hal yang diterangkan berikut ini. Perhatikan gambar berikut ini yang menunjukkan perubahan nilai pH terhadap aliran basa yang diberikan F_b (mL/s).

Pada uji *closed loop* berikutnya dilakukan dengan memberikan *setpoint* 11. Pada mulanya larutan asam yang mengalir memiliki nilai pH sebesar 3,5. Setelah diberikan SP 11 nilai pH berubah secara perlahan-lahan menuju *setpoint*. Berdasarkan Gambar 8 dapat diketahui performansi sistem pengendalian ini memiliki karakteristik *maximum overshoot* 6%, nilai E_{ss} sebesar 2,7%, dan T_s sebesar 12,2s.

Pada uji *closed loop* berikutnya dilakukan *tracking* turun dari nilai awal pH larutan adalah 11, kemudian diberikan *setpoint* 5. Dari Gambar 9 dapat dilihat nilai pH berubah secara perlahan dari 11 menuju 5. Dapat diketahui berdasarkan kurva respon dari sistem pengendalian nilai *maximum overshoot* 1,6%, nilai E_{ss} sebesar 1% dan T_s sebesar 8 s.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Terdapat tiga daerah linier pada pencampuran CH_3COOH 0,1 M 16,25 mL dengan NaOH 0,1 M 20 mL yaitu $3,5 \leq \text{pH} \leq 6,21$, $6,22 \leq \text{pH} \leq 10,73$ dan $10,74 \leq \text{pH} \leq 11,9$.
2. Dengan menggunakan metode *tuning ultimate sensitivity* didapatkan nilai $P=27,4$, $I=0,016$, dan $D=0,004$ untuk daerah linier $3,5 \leq \text{pH} \leq 6$. Pada daerah linier $6,22 \leq \text{pH} \leq 10,73$

didapatkan nilai PID sebesar $P=0,6625, I=0,016$, dan $D=0,004$. Pada daerah linier $10,74 \leq \text{pH} \leq 11,9$ nilai parameter PID didapatkan sebesar $P=19,56, I=0,016$, dan $D=0,004$.

3. Pada uji *closed loop*, untuk *setpoint* pH5 didapatkan nilai karakteristik respon *overshoot* sebesar 19,6 %, *Ess (error steady state)* sebesar 0,04% dan T_s sebesar 6s. Pada nilai *set point* 6 didapatkan *overshoot* sebesar 3,3%, *Ess* sebesar 3% dan T_s sebesar 13s. Pada nilai *setpoint* pH 3,5-11 didapatkan *Overshoot* sebesar 6 %, *Ess (error steady state)* sebesar 2,7% dan T_s sebesar 20s. Pada *tracking* turun nilai *setpoint* pH 11-5 didapatkan *overshoot* 1,6%, *ess (error steady state)* 1% dan T_s 8s.
4. Pada uji *closed loop setpoint* 7-9 respon tidak dapat mencapai *setpoint* dikarenakan berada pada daerah linier 2 yang merupakan daerah kritis. Penambahan 1 ml/s dapat

merubah nilai pH menjadi dua kali semula. Ketidak tercapaian *setpoint* pada daerah linier 2 juga disebabkan resolusi pompa yang melebihi daei 1ml/s.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. J.Y. Choi, J. Lee, "In-line mixer for feedforward control and adaptive", PERGAMON, Chemical Engineering Science (1999), 1337-1339.
- [2]. K. Ogata. "Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)". Jakarta : Erlangga (1985)
- [3]. L. Fadloli, " Perancangan Sistem Pengendalian pH pada Continuos
- [4]. Pipe Mixing(CIPM) dengan Metode Pengendalian PID-Selftuning Berbasis Auto-Switch Algorithm," Tugas Akhir, ITS, Surabaya (2010).
- [5]. S. Ismail, " Rancang Bangun Auto Switch PID pada Proses Netralisasi Ph," Tugas Akhir, ITS (2011).
- [6]. O&TC. "Operator and Technician Certification Instrumentation". Duri : PT. Chevron Pacific Indonesia (2006).